بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشکده فنی و مهندسی
گروه عمران

تحلیل عددی رفتار لرزه ای سدهای سنگریزه ای با هسته بتن آسفالتی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی

استاد راهنما:
جناب دکتر سید ابوالحسن نائینی

نگارنده:
سهیل مهرجوی نوا

اسفند ۹۰

با کمال افتخار

تقدیم به پدر، مادر و همسر عزیزم

چکیده

برای سال‌های زیادی، ساخت سدهای سنگریزه ای با هسته‌های رسی به عنوان المان آب بند توسعه یافته است. اما در سال‌های اخیر، با توجه به حساسیت این هسته‌ها به شرایط آب و هوایی مخصوصاً پر باران، زمان طولانی اجرا، حجم زیاد مصالح و مقاومت برشی پایین، هسته بتن آسفالتی که واقعاً نفوذناپذیر، انعطاف پذیر و دارای قابلیت تراکم بالا و خود ترمیمی می‌باشد مورد توجه بوده است. هسته‌های بتن آسفالتی به علت دارا بودن مقاومت برشی زیاد و خاصیت ویسکوز، در مناطق لرزه خیز می‌توانند مناسب باشند.

به منظور بررسی رفتار این نوع سدها، در این تحقیق، رفتار سد سنگریزه ای با هسته بتن آسفالتی تحت بارهای دینامیکی به صورت عددی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این راستا، مراحل مختلف ساخت و آبگیری سد با استفاده از مدل رفتاری موهر- کولمب در نرم افزار Plaxis مدل شده و سپس رفتار لرزه ای سد تحت بارگذاری سه زلزله مختلف ارزیابی شده است. همچنین جهت صحت سنجی مدل‌سازی، مقایسه ای با نتایج یک مدل فیزیکی این نوع سدها، صورت پذیرفته است که دارای دقت قابل قبولی می‌باشد.

نمودارها و نتایج حاصل از تحلیل‌های عددی، پاسخ مناسب سد را در طی ارتعاشات زلزله نشان می‌دهد که بیانگر رقابت پذیری هسته بتن آسفالتی با دیگر گزینه‌ها می‌باشد.

سپاس، بی همتا معبودی که قلم ها از وصف ذاتش می مانند و زبان ها از شکر نعمت هایش بی حرکت و دستان اندیشه و فکرت بر بیکران دریای معرفتش، کوتاه.

بر خود لازم می دانم از همه کسانی که به ثمر نشستن این پژوهش، حاصل همفکری، همکاری و همراهی آنان بوده است تقدیر نمایم:

برای استاد بزرگوارم جناب دکتر نائینی که در این مسیر، صبورانه بنده را یاری کرده اند، آرزوی سلامتی و کمال تشکر را دارم. همچنین از همه اساتید و معلمان، من جمله جناب دکتر ضیائی مؤید، جناب دکتر حسنلو راد و جناب دکتر جسمانی که در این دوره، موفقیتم را مدیون آن ها هستم تشکر می گردد. جا دارد از تشریف فرمایی جناب دکتر باقریه نیز سپاس گزاری گردد.

در آخر، زحمات بی دریغ پدر و مادر را در طی این سالیان، سپاس می گویم و از خانم مهندس سمیرا مهرورز، همسر عزیزم و خانواده محترم، به خاطر کمک های فراوانشان قدردانی می کنم.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ بیان مسئله ۵

۱-۳ هدف از تحقیق ۶

۱-۴ روش تحقیق ۶

۱-۵ شرح فصل‌ها ۶

فصل دوم: معرفی ادبیات فنی ۸

۲-۱ مشخصات فنی بتن آسفالتی ۹

۲-۱-۱ مصالح شامل درشت دانه‌ها و ریز دانه‌ها ۹

۲-۱-۲ قیر ۱۰

۲-۲ قابلیت آب بند بتن آسفالتی ۱۰

۲-۳ ویژگی‌های اکولوژیکی بتن آسفالتی ۱۱

۲-۴ روش‌های ساخت هسته بتن آسفالتی و تأثیرات آن ۱۱

۲-۵ اجزا سد سنگریزه ای با هسته بتن آسفالتی ۱۴

۲-۵-۱ هسته ۱۵

۲-۵-۲ ناحیه انتقالی بالادست ۱۵

۲-۵-۳ ناحیه انتقالی پایین دست ۱۶

۲-۵-۴ پوسته سد ۱۶

۲-۵-۵ محافظ شیب ۱۶

۲-۵-۶ پوشش تاج ۱۷

۲-۵-۷ پنجه سد ۱۷

۲-۶ نکاتی در اجرای هسته های بتن آسفالتی ۱۷

۲-۷ مزایا و معایب سد با هسته بتن آسفالتی ۱۸

۲-۷-۱ مزایا ۱۸

۲-۷-۲ معایب ۱۹

۲-۸ مقایسه هسته بتن آسفالتی ۱۹

۲-۸-۱ مقایسه با رویه بتنی ۱۹
۲-۸-۲ مقایسه با هسته رسی ۲۰
۲-۸-۳ مقایسه با هسته های خاکی در برابر شکست هیدرولیکی ۲۱
۲-۹ توجیه انجام تحقیقات جدید ۲۱
۲-۱۰ بررسی تحقیقات گذشته ۲۲
۲-۱۰- ۱ بررسی اثرات مقدار قیر در مخلوط بتن آسفالتی ۲۲
۲-۱۰-۲ سد مدل شده در آزمایش سانتریفیوژ ۲۲
۲-۱۰-۳ سد مدل شده در آزمایش میز لرزه ۲۴
۲-۱۰-۴ پژوهش‌های عددی ۲۵
۲-۱۱ سدهای هسته آسفالتی ساخته شده ۳۲

فصل سوم: مبانی تحلیل دینامیکی سدهای خاکی ۳۵

۳-۱ روش‌های مختلف تحلیل سدهای خاکی و سنگریزه ای ۳۶
۳-۱-۱ تحلیل شبه استاتیکی ۳۶
۳-۱-۲ روش مبتنی بر رفتار ویسکو الاستیک سدهای خاکی ۳۷
۳-۱-۳ تحلیل دینامیکی واقعی ۳۷
۳-۲ فلسفه طراحی در برابر زلزله ۳۷
۳-۳ بررسی تئوری‌های موجود ۳۸
۳-۳-۱ روش المان محدود (FEM) ۳۹
۳-۳-۲ روش تفاضل محدود (FDM) ۳۹
۳-۳-۳ روش اجزای مجزا (DEM) ۴۰
۳-۴ معرفی نرم افزار مورد استفاده در تحلیل ۴۰
۳-۴-۱ معادله اصلی رفتار دینامیکی ۴۰
۳-۴-۲ محدودیت‌های مدل الاستیک در باز نمایی رفتار واقعی خاک‌ها ۴۲
۳-۵ مدل رفتاری مورد استفاده ۴۳

فصل چهارم: مدل‌سازی عددی بر اساس مطالعه موردی ۴۵

۴-۱ سد سنگریزه ای هسته بتن آسفالتی مورد بررسی ۴۶
۴-۲ پارامترهای مصالح بدنه سد ۴۷
۴-۳ مدل‌سازی هندسی ۴۷
۴-۳-۱ شرایط مرزی و تکیه گاه ۴۹

۴-۳-۲ تقریب پی بدون جرم در آنالیز دینامیکی ۵۰
۴-۳-۳ تعیین پارامترهای میرایی رایلی مصالح ۵۰
۴-۴ شرح مراحل ساخت و آبگیری ۵۱
۴-۵ بررسی آنالیز استاتیکی سد ۵۲
۴-۵-۱ رفتار سد در مرحله پایان ساخت ۵۲
۴-۵-۲ رفتار سد در مرحله تراوش دائم ۵۵
۴-۶ شرح مرحله بارگذاری دینامیکی ۵۹
۴-۶-۱ انتخاب زلزله به عنوان بارهای دینامیکی ۶۰
۴-۷ بررسی آنالیز دینامیکی سد ۶۱
۴-۷-۱ بررسی کرنش برشی در هسته و نواحی انتقالی ۶۷
۴-۷-۲ بررسی آب بندی هسته بتن آسفالتی ۶۸
۴-۷-۳ بررسی ایجاد ترک‌ها بر اثر تنش‌های کششی ۷۰

فصل پنجم: مدل‌سازی عددی بر اساس مدل فیزیکی سد در آزمایشگاه ۷۳

۵-۱ مدل فیزیکی سد در آزمایشگاه ۷۴
۵-۱-۱ نحوه ساخت مدل فیزیکی و نصب حسگرها در مدل ۷۴
۵-۱-۲ نحوه انجام آزمایش و بارهای دینامیکی ۷۶
۵-۲ مدل‌سازی عددی و طراحی مدل ۷۷
۵-۲-۱ شرح مراحل ساخت و آبگیری ۷۸
۵-۲-۲ شرح مرحله بارگذاری دینامیکی ۷۹
۵-۳ مقایسه نتایج بدست آمده از مدل عددی و مدل فیزیکی سد ۷۹

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۳

۶-۱ نتایج ۸۴
۶-۲ پیشنهاد برای تحقیقات آتی ۸۵

فهرست مراجع ۸۶

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: نمای شماتیک انواع سدهای خاکی [۵] ۳
شکل ۲-۱: اثر زمان بارگذاری و دما بر مقاومت کششی قیر [۲] ۱۲
شکل ۲-۲: اجزای المان ساندویچی هسته بتن آسفالتی [۱] ۱۴
شکل ۲-۳: نمای شماتیک اجزا سد هسته بتن آسفالتی [۶] ۱۴
شکل ۲-۴: توزیع اندازه ذرات برای دانه بندی در بتن آسفالتی (منحنی فولر) [۲] ۱۵
شکل ۲-۵: شمای عمومی دستگاه ریختن بتن آسفالتی و فیلتر [۲] ۱۸
شکل ۲-۶: تغییرات کرنش حجمی بتن آسفالتی بر حسب درصد قیر [۲] ۲۲
شکل ۲-۷: مدل فیزیکی سد هسته بتن آسفالتی در دستگاه سانتریفیوژ [۷] ۲۳
شکل ۲-۸: نحوه نصب ابزار در بدنه سد در مدل سانتریفیوژ [۷] ۲۳
شکل ۲-۹: تغییر مکان‌های القایی در بدنه سد در آزمایش سانتریفیوژ [۷] ۲۴
شکل ۲-۱۰: مدل فیزیکی سد مدل شده در آزمایش میز لرزه [۸] ۲۵
شکل ۲-۱۱: تصاویر قبل و بعد از لرزش سد در آزمایش میز لرزه [۸] ۲۶
شکل ۲-۱۲: توزیع شتاب افقی در شتاب پایه 0.5g [۹] ۲۷
شکل ۲-۱۳: شتاب افقی و قائم حداکثر برای نقاط انتخاب شده (بردار) و کرنش برشی حداکثر [۹] ۲۷
شکل ۲-۱۴: تاریخچه زمانی زلزله ورودی 0.6g [۷] ۲۹
شکل ۲-۱۵: تاریخچه زمانی پاسخ سد در نزدیکی محل تاج [۷] ۲۹
شکل ۲-۱۶: مقادیر کرنش برشی در ارتفاع سد برای هسته و ناحیه انتقالی [۷] ۳۰
شکل ۲-۱۷: مدل تفاضل محدود سد هسته بتن آسفالتی [۱۴] ۳۱
شکل ۲-۱۸: تاریخچه زمانی جداشدگی هسته و ناحیه انتقالی در بالادست [۱۴] ۳۱
شکل ۲-۱۹: تغییر شکل میدانی سد [۱۴] ۳۲
شکل ۲-۲۰: تغییرات ماکزیمم کرنش حجمی با ارتفاع هسته بتن آسفالتی [۱۴] ۳۲
شکل ۳-۱: تغییر نسبت میرایی بحرانی نرمال شده با فرکانس زاویه ای [۱۸] ۴۲
شکل ۴-۱: سطح مقطع سد گرمرود [۲۲] ۴۶
شکل ۴-۲: مثال‌هایی از کرنش صفحه‌ای و تقارن محوری [۱۵] ۴۸
شکل ۴-۳: چگونگی گره‌ها و نقاط تنش در المان‌های مثلثی [۱۵] ۴۸
شکل ۴-۴: مدل مش بندی کرنش صفحه‌ای سد گرمرود ۴۹
شکل ۴-۵: مدل اندرکنش پی - سازه [۱۹] ۵۰
شکل ۴-۶: تنش‌های قائم در حالت پایان ساخت ۵۳
شکل ۴-۷: تنش‌های افقی در حالت پایان ساخت ۵۳
شکل ۴-۸: تنش‌های برشی در حالت پایان ساخت ۵۴
شکل ۴-۹: مقادیر تغییر مکان‌های افقی در حالت پایان ساخت ۵۴
شکل ۴-۱۰: مقادیر تغییر مکان‌های قائم در حالت پایان ساخت ۵۵
شکل ۴-۱۱: تنش‌های قائم کل در حالت تراوش دائم ۵۶
شکل ۴-۱۲: تنش‌های افقی کل در حالت تراوش دائم ۵۷

شکل ۴-۱۳: تنش‌های قائم مؤثر در حالت تراوش دائم ۵۷
شکل ۴-۱۴: تنش‌های افقی مؤثر در حالت تراوش دائم ۵۸
شکل ۴-۱۵: مقادیر تغییر مکان قائم در حالت تراوش دائم ۵۸
شکل ۴-۱۶: مقادیر تغییر مکان افقی در حالت تراوش دائم ۵۹
شکل ۴-۱۷: تاریخچه زمانی شتاب زلزله های
الف) ال سنترو (زلزله ۱) ۶۰
ب) منجیل (زلزله ۲) ۶۰
ج) کوبه (زلزله ۳) ۶۱
شکل ۴-۱۸: مقادیر تغییر مکان افقی در زلزله های
الف) ال سنترو (زلزله ۱) ۶۲
ب) منجیل (زلزله ۲) ۶۲
ج) کوبه (زلزله ۳) ۶۳
شکل ۴- ۱۹: مقادیر تغییر مکان‌های قائم در زلزله‌های
الف) ال سنترو (زلزله ۱) ۶۳
ب) منجیل (زلزله ۲) ۶۴
ج) کوبه (زلزله ۳) ۶۴
شکل ۴-۲۰: تاریخچه زمانی نشست تاج سد در زلزله‌های
ال سنترو (زلزله ۱)، منجیل (زلزله ۲) و کوبه (زلزله ۳) ۶۵
شکل ۴-۲۱: پاسخ شتاب تاج سد در زلزله‌های
الف) ال سنترو (زلزله ۱) ۶۶
ب) منجیل (زلزله ۲) ۶۶
ج) کوبه (زلزله ۳) ۶۷
شکل ۴-۲۲: مقادیر حداکثر کرنش برشی در ارتفاع سد برای هسته بتن آسفالتی و نواحی انتقالی در زلزله‌های
الف) ال سنترو (زلزله ۱) ۶۷
ب) منجیل (زلزله ۲) ۶۸
ج) کوبه (زلزله ۳) ۶۸
شکل ۴-۲۳: نسبت تنش در ارتفاع هسته بتن آسفالتی برای سه زلزله اعمالی ۱، ۲ و ۳ ..... ۶۹
شکل ۴-۲۴: مقایسه نسبت تنش در ارتفاع سد در سه زلزله اعمالی ۱، ۲ و ۳ ..... ۷۰
شکل ۴-۲۵: تغییرات تنش اصلی کوچک‌تر در زلزله‌های
الف) ال سنترو(زلزله۱) ۷۱
ب) منجیل(زلزله ۲) ۷۱
ج) کوبه(زلزله ۳) ۷۲
شکل ۵-۱: ایجاد تراکم در پی مدل فیزیکی [۸] ۷۵
شکل ۵-۲: کوبیدن آسفالت در قالب در مدل فیزیکی [۸] ۷۶
شکل ۵-۳: نصب حسگرها در مدل فیزیکی [۸] ۷۶
شکل ۵-۴: مدل فیزیکی قبل از اعمال لرزش [۸] ۷۷
شکل ۵-۵: مدل مش بندی کرنش صفحه‌ای سد بر اساس مدل فیزیکی ۷۸

شکل ۵-۶ : مقایسه پاسخ شتاب در ترازهای هسته در تحلیل عددی و مدل فیزیکی ۸۰
شکل ۵-۷: مقایسه پاسخ شتاب در ترازهای هسته در تحلیل عددی و مدل فیزیکی در ثانیه ۸ تا ۹ ..... ۸۱
شکل ۵-۸ : مقایسه تغییر مکان افقی در تاج سد در تحلیل عددی و مدل فیزیکی ۸۲
شکل ۵-۹ : مقایسه تغییر مکان افقی در پوسته در تحلیل عددی و مدل فیزیکی ۸۲

فهرست جداول

جدول ۲-۱: تعداد سدهای هسته بتن آسفالتی در جهان [۱] ۳۳
جدول ۴-۱: مشخصات بخش‌های مختلف سد گرمرود [۲۲] ۴۷
جدول ۴-۲: فرکانس طبیعی مودهای سازه سد ۵۱
جدول ۴-۳: ضرایب میرایی رایلی مصالح در بدنه سد ۵۱
جدول ۴-۱: مشخصات بخش‌های مختلف سد بر اساس مدل فیزیکی ۷۸

فصل اول :

مقدمه

۱-۱ مقدمه

با در نظر گرفتن پارامتر عدم تغییر شکل و مقاومت در برابر جریان آب، سدها به سدهای وزنی، سدهای پشت بنددار، سدهای قوسی و سدهای لاستیکی تقسیم می‌شوند. در این دسته‌بندی، سدهای خاکی و سدهای خاکی-سنگریزه‌ای از سدهای وزنی محسوب می‌شوند.

در صدر مسائل انتخاب مصالح برای سد، مسئله نفوذناپذیری سد وجود دارد. از نظر مصالح، سدها به بتنی، خاکی، سنگریزه‌ای و ... تقسیم می‌شوند. در سدهای بتنی، خود بتن نقش ماده نفوذناپذیر را ایفا می‌کند، اما در سدهای خاکی این بخش می‌تواند به صورت‌های مختلف طراحی شود. این لایه می‌تواند درون سد قرار گیرد یا به صورت یک پوسته روی سد اجرا شود.

در سدهای سنگریزه‌ای، عنصر آب بند که عموماً به صورت هسته سد احداث می‌شود اهمیت زیادی دارد. هسته معمولاً از خاک رسی چسبنده ساخته می‌شود. اما در سال‌های اخیر استفاده از مصالح دیگر به عنوان عنصر آب بند مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این مصالح، آسفالت است. آسفالت تحت عنوان بتن آسفالتی در هسته و نیز رویه این‌گونه سدها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نوع ماده نفوذناپذیر و محل قرار گیری آن، سدها به چند دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- سد رسی
- سد با هسته رسی
- سد با رویه بتنی
- سد با رویه بتن آسفالتی
- سد با هسته بتن آسفالتی

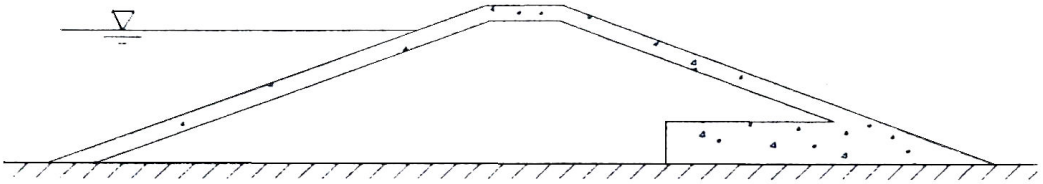
نمای شماتیک این جند نوع سد در شکل ۱-۱ آمده است.

آسفالت یک ماده ویسکو الاستیک-پلاستیک است که در معرض:

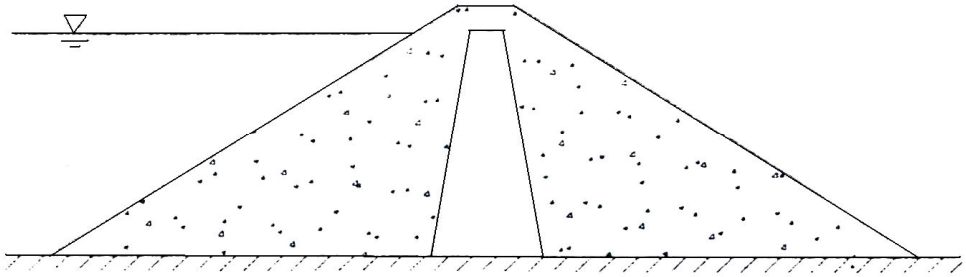
- نشست‌های تفاضلی (نامتقارن) ناشی از پی‌های تراکم پذیر و یا پدیده آرچینگ
- نشست‌های کلی خاکریزها

- ترک‌ها یا آسیب زمین لرزه

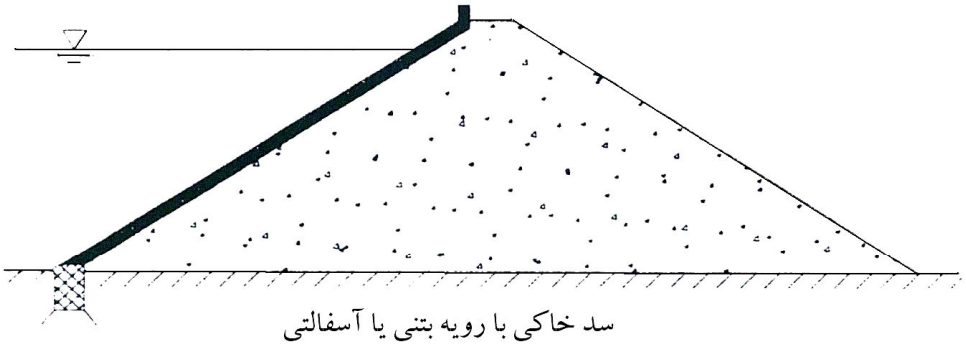
دارای قابلیت خود ترمیمی می‌باشد. عملکرد هسته‌های آسفالتی، بسیار زیاد مجزا از شرایط آب و هوایی می‌باشد.



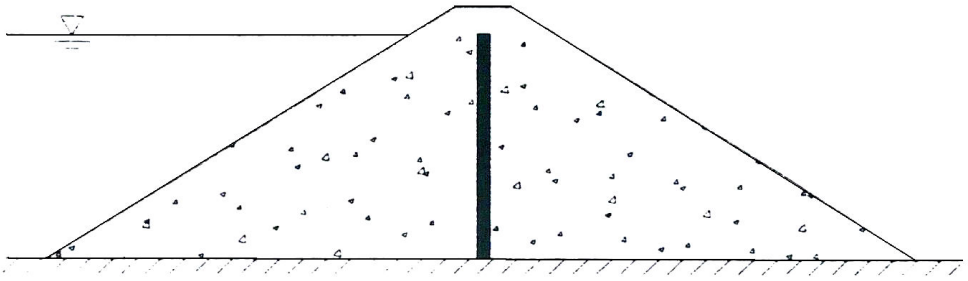
سد خاکی



سد خاکی با هسته رسی



سد خاکی با رویه بتنی یا آسفالتی



سد خاکی با هسته بتن آسفالتی

شکل ۱-۱: نمای شماتیک انواع سدهای خاکی [۵]

در مناطقی با بارش زیاد، ساخت سد با انتخاب یک هسته بتن آسفالتی در مقایسه با هسته های رسی یا رویه بتنی، با طراحی آسان‌تر و زمان ساخت کوتاه‌تر انجام می‌پذیرد که در قسمت داخلی و مرکزی بدنه سد، به صورت انعطاف پذیر و نفوذناپذیر در طی عمر سد در شرایط ایده آل باقی خواهد ماند. هم چنین آسفالت برای ذخیره آب شیرین و آب آبیاری کاملاً غیر مضر می‌باشد. قیر، عنصر چسبنده در بتن آسفالتی، یک محصول طبیعی می‌باشد که دربردارنده افزودنی‌هایی که می‌تواند محیط زیست و آب را آلوده کند نیست.

کشور ایران به عنوان یکی از مناطق زلزله خیز جهان همواره در طی سالیان گذشته در معرض زلزله های ویران کننده ای قرار داشته است، شرایط طبیعی و زمین شناسی ایران از نقطه نظر وقوع زلزله به طور جدی در دستور کار مهندسین و برنامه ریزان قرار گرفته است. با توجه به اینکه سدهای بسیاری در مناطق زلزله خیز احداث شده و یا در دست ساخت قرار دارند، طراحی ایمن آن‌ها در برابر زلزله از اهمیت و جایگاه ویژه ای برخوردار است. بررسی دقیق پایداری لرزه ای سدهای خاکی از مسائل پیچیده در حوزه سازه های خاکی است. تنوع خواص دینامیکی بدنه سد و گوناگونی جنس و ضخامت شالوده که می‌توانند در انتقال، تضعیف و تقویت امواج زلزله نقش اساسی داشته باشند، وجود یا عدم وجود گسل فعال در محدوده محور سد، ویژگی‌های زلزله مانند فاصله مرکز زلزله تا سد، شدت و طول زمان وقوع زلزله، نوع و امتداد امواج رسیده به سد و محتوای فرکانسی امواج، همه از عواملی هستند که در پاسخ دینامیکی سد نقش به سزایی دارند.

نگرانی اصلی در استفاده از سدهای بتن آسفالتی در ایران، عمدتاً در خصوص نحوه عملکرد این سدها در برابر زلزله است. هسته آسفالتی در این‌گونه سدها، پرده نازک آب بندی می‌باشد که در حالت استاتیکی تحت تنش‌های ثقلی ناشی از فشار مصالح مجاور و فشار آب قرار دارد. تاریخچه عملکرد این سدها و شواهد محاسباتی حکایت از عملکرد مطلوب این سدها در شرایطی استاتیکی دارد. اما در شرایط زلزله ممکن است وضعیت متفاوت باشد. زلزله های واقعی، حرکتی سه بعدی به سازه سد وارد می‌کند. بدنه سد تحت تأثیر حرکت انتقالی از پی و تکیه گاه‌ها دچار تغییر شکل‌هایی در جهات مختلف می‌شود و چون هسته آسفالتی عنصری با ضخامت کم است، ممکن است دچار آسیب شود. این آسیب‌ها می‌تواند در محل اتصال هسته پی و محل اتصال هسته به تکیه گاه‌ها رخ دهد. همچنین تغییر شکل‌های برشی و خمشی عمود بر محور سد می‌تواند هسته آسفالتی را تحت تأثیر قرار دهد. تغییر شکل برشی و نیروهای محوری وارد بر هسته در امتداد محور سد هسته آسفالتی نیز قابل توجه می‌باشند. در این خصوص ضروری است که رفتار کل سد هسته آسفالتی در شرایط زلزله مدل شود. متأسفانه حتی با درک و رفتار دینامیکی المان هسته آسفالتی و سنگریزه ای به طور جداگانه، مدل‌سازی رفتار کل سد به سادگی ممکن نیست. این مدل

سازی می‌تواند به دو روش مدل‌سازی عددی و مدل سازی فیزیکی انجام گیرد. در مدل سازی عددی، استفاده از نرم افزاری که بتواند رفتار دینامیکی مصالح، شرایط مرزی و سه بعدی بودن تأثیر زلزله را مدل نماید ضروری است. البته باید در نظر داشت که متأسفانه خود مدل سازی فیزیکی با وجود کمک به درک رفتار کلی ابنیه سدها دارای خطا است.

در سال‌های اخیر پیشرفت‌های صورت گرفته در هر دو زمینه نرم افزار و سخت افزار کامپیوتر بسیاری از این مشکلات را خصوصاً در زمینه مدل کردن هندسه سه بعدی بدنه سدها و رفتار غیر خطی و غیر ارتجاعی خاک قابل حل نموده است. به همین نسبت پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی در ارزیابی خواص دینامیکی مصالح سد و نتایج حاصل از آزمایش‌های ارتعاش اجباری سدها و ثبت پاسخ سدها در برابر زلزله های واقعی در جهت تصحیح و اعتبار بخشیدن به روش‌های عددی و تحلیلی بسیار موثر بوده است.

۱-۲ بیان مسئله

با توجه به افزایش دامنه کاربرد سدهای سنگریزه‌ای با هسته بتن آسفالتی در سال‌های اخیر به خصوص در منطقه لرزه خیز ایران، توجه به رفتار دینامیکی این نوع سدها معنا پیدا می‌کند. یکی از راه های بررسی رفتار این گونه سدها تحت بارهای دینامیکی، استفاده از مدل فیزیکی است که سد را با تمام خصوصیات در مقیاس کوچک‌تر از واقعی در آزمایش مدل کنیم و سپس تحت بارگذاری دینامیکی رفتار آن را بررسی نماییم. در این روش، ایجاد شرایط واقعی از یکسو و زمان آزمایش از سوی دیگر محدودیت‌هایی را ایجاد می‌نماید. امروزه با پیشرفت روزافزون و فراگیر شدن کامپیوتر، استفاده از روش‌های عددی در تحلیل و طراحی سدهای خاکی در مقابل زلزله یکی دیگر از روش‌هاست. انتخاب مدل رفتاری مناسب مهم‌ترین فاکتور در آنالیز با روش‌های اجزای محدود یا تفاضل محدود سدهای خاکی، برای مدل کردن رفتار تنش-کرنش خاکریز می‌باشد. به دلیل اینکه رفتار خاک الاستیک خطی نیست، استفاده از چنین مدل‌هایی می‌تواند به نتایج غیر ایمن و غیر اقتصادی منجر شود. همچنین در حین ساخت سد و بعد از آن به ویژه در مرحله آبگیری، مسیرهای مختلفی از تنش همراه با دوران جهت تنش‌های اصلی در خاکریز رخ می‌دهند که در نتیجه مدل‌های الاستیک غیرخطی نیز قادر به در نظر گرفتن وابستگی رفتار به مسیر تنش که در اثر رفتار غیر ارتجاعی خاک حادث می‌شود، نمی‌باشند. در همین راستا، در این تحقیق سعی می‌شود ابتدا پاسخ دینامیکی سد با هسته بتن آسفالتی تحت بارگذاری زلزله با استفاده

از مدل‌های الاستو پلاستیک تحلیل شود. سپس برای صحت سنجی نرم افزار، پاسخ دینامیکی یک مدل فیزیکی از این نوع سد، تحلیل عددی می‌شود و نتایج مدل عددی با مدل فیزیکی مقایسه می گردد.

۱-۳ هدف از تحقیق

سدهای خاکی و سنگریزه‌ای از جمله سازه های هستند که گسیختگی در آن‌ها می‌تواند منجر به خسارات جبران ناپذیری گردد، از این رو در طراحی آن‌ها لازم است تمام کنترل‌ها و حساسیت‌های لازم به عمل آید. یکی از این موارد، کنترل پایداری سد در طول زلزله و بعد از آن می‌باشد. بررسی دقیق پایداری سدهای خاکی در برابر زلزله از پیچیده‌ترین مسایل در حوزه سازه‌های خاکی است. علت این مسئله این است که مجموعه معلومات و روابط بین آن‌ها در تحلیل این مسئله بسیار متنوع و متفاوت است. با توجه به تحقیقات کم و تردید در میزان صحت و دقت تحلیل‌های عددی از یک طرف و وجود محدودیت‌هایی در کارهای آزمایشگاهی از سوی دیگر، انجام مطالعات جدید را ضرورت می‌بخشد.

۱-۴ روش تحقیق

در این تحقیق، رفتار دینامیکی سد سنگریزه ای با هسته بتن آسفالتی گرمرود، واقع در شمال کشور تحت بارگذاری زلزله تحلیل می‌شود و پارامترهایی نظیر توزیع تنش‌ها، شکست برشی و آب بندی هسته و ... مورد ارزیابی قرار می گیرد. در نهایت جهت صحت سنجی نرم افزار، مدل فیزیکی از این نوع سدها که به صورت آزمایشگاهی در دستگاه میز لرزه 1g مورد بررسی قرار گرفته، تحلیل عددی می‌شود. برای انجام تحلیل‌ها، با استفاده از مدل موهر- کولمب که یک مدل الاستو پلاستیک است از روش المان محدود (FEM) و از نرم افزار PLAXIS V8.2 Professional استفاده خواهد شد. در این نرم افزار معادلات دینامیکی حرکت با انتگرال گیری به روش نیومارک حل می‌شود.

۱-۵ شرح فصل‌ها

در فصل اول، مقدمه ای از سدها با هسته بتن آسفالتی بیان می‌شود. در فصل دوم، مروری بر ادبیات فنی موضوع مورد بحث، می‌شود. همچنین در این فصل کارهای انجام شده در این زمینه به صورت

آزمایشگاهی و عددی ذکر می‌گردد. در فصل سوم چگونگی تحلیل دینامیکی سدها، نرم افزار مورد استفاده و تئوری حاکم بر آن توضیح داده می‌شود. در فصل چهارم که قسمت اصلی تحقیق می‌باشد تحلیل‌های عددی انجام شده و نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد. فصل پنجم جهت مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی که به صحت سنجی نرم افزار منتج می‌شود ارائه می‌گردد. در فصل ششم نیز نتیجه گیری کلی و پیشنهاداتی برای تحقیقات بعدی آورده شده است.